Bt杀虫蛋白对不同品系棉铃虫和中红侧沟茧蜂生长发育的影响

刘小侠[1]，张青文[1*]，蔡青年[1]，李建成[2]，董 杰[1]
（1. 中国农业大学农学与生物技术学院，北京 100094；2. 河北省农林科学院植物保护研究所，河北保定 071000）

摘要：以棉铃虫 *Helicoverpa armigera*（Hübner）室内敏感品系和田间品系为寄主，研究了亚致死浓度的 Bt 杀虫蛋白对中红侧沟茧蜂 *Microplitis mediator*（Haliday）生长发育的影响。结果表明：当寄主一直取食，或者在被寄生前 12 小时开始取食含 Bt 杀虫蛋白浓度为 0，0.5，1.0，2.0，4.0，8.0 μg/g 的饲料时，与对照相比，中红侧沟茧蜂的卵-幼虫历期延长，茧重和成虫体重降低，成虫寿命缩短，但对茧期没有明显影响。Bt 杀虫蛋白能有效抑制两个棉铃虫品系幼虫的生长，显著降低棉铃虫蛹重；当 Bt 蛋白浓度为 4.0 μg/g 时，显著降低棉铃虫化蛹率。用转双基因抗虫棉 SGK321（表达 Cry1A + CpTI 蛋白）饲喂两个棉铃虫品系初孵幼虫，室内品系的第 2、3、4 和 5 天校正死亡率分别为 48.5%、87.8%、96.6%和 95.8%，显著高于田间品系（30.9%、59.6%、80.9%及 86.1%）。本研究表明，不论是田间品系还是室内品系，棉铃虫取食含 Bt 杀虫蛋白的饲料后，对中红侧沟茧蜂的生长发育都具有显著的负面作用。

关键词：棉铃虫；中红侧沟茧蜂；Bt 杀虫蛋白；转基因抗虫棉；生长发育
中图分类号：Q965，Q968 **文献标识码**：A **文章编号**：0454-6296(2004)04-0461-06

Effect of Bt protein on development of different strains of the cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* (Hübner) and the parasitoid, *Microplitis mediator* (Haliday)

LIU Xiao-Xia[1], ZHANG Qing-Wen[1*], CAI Qing-Nian[1], LI Jian-Cheng[2], DONG Jie[1] (1. College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100094, China; 2. Institute of Plant Protection, Hebei Academy of Forestry and Agriculture, Baoding, Hebei 071000, China)

Abstract: Two strains of the cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* (Hübner), one is a susceptible laboratory strain and the other is collected from Bt cotton fields, were used as the insect hosts to study the effect of Bt insecticidal protein on the development of the parasitoid, *Microplitis mediator* (Haliday). The results showed that the larval duration of the parasitoid was delayed, and the pupal weight, body weight of the newly emerged adult and adult longevity decreased significantly when the hosts larvae fed on diet containing Bt protoxin *Cry1Ac* at the concentrations of 0.5－8.0 μg/g in all time or from 12 h before parasitism till pupation of the parasitoid. Compared with the control, the larval weight and pupal weight of *H. armigera* decreased significantly when the larvae fed on diet containing *cry1Ac*. Pupation rate of *H. armigera* decreased significantly in the treatment with diet containing Cry1Ac at 4.0 μg/g. When *H. armigera* larvae fed on the transgenic cotton leaves expressing both Cry1A and CpTI proteins, the mortality of the laboratory strain was 48.5%－95.8% in 2－5 days after treatment, which was significantly higher than that of the field strain (30.9%－86.1%). It is concluded that feeding on diet containing Bt insecticidal protein, both strains of the cotton bollworm will have significantly negative effects on development of the parasitoid, *M. mediator*.

Key words: *Helicoverpa armigera*; *Microplitis mediator*; Bt protoxin; transgenic cotton; development

中红侧沟茧蜂 *Microplitis mediator*（Haliday）是一种寄主广泛的内寄生蜂，它的寄主涉及到鳞翅目夜蛾科和尺蛾科 40 多种昆虫，其中包括棉铃虫 *Helicoverpa armigera*（Hübner）、粘虫 *Mythimna*

基金项目：国家"973"项目（G2000016209）；国家科技攻关计划项目（2001BA507A-11-02）
作者简介：刘小侠，女，1976 年生，博士生，主要研究方向为植物抗虫性，E-mail：liuxiaoxia611@sohu.com
* 通讯作者 Author for correspondence，E-mail：zhangqingwen@263.net
收稿日期 Received：2003-12-18；接受日期 Accepted：2004-05-26

separata、甘蓝夜蛾 *Barathra brassicae* 等农业上的重大害虫。王德安等(1984)从 1979 至 1982 年的田间调查表明,中红侧沟茧蜂对棉铃虫的平均寄生率 22.9%,有些年份的寄生率可达到 43.3%。上世纪 80 年代兴起的植物抗虫基因工程已经成为研究和应用的热点,并且取得了很大的进展。1998 年我国的转基因抗虫棉种植不到 10 万公顷,到 2000 年已超过 100 万公顷,2002 年已占全国棉花种植面积的 49%。许多研究认为抗虫棉的种植能对棉铃虫产生良好的控制效果,近几年来抗虫棉对棉田天敌的影响及棉铃虫对 Bt 棉的抗性问题成为人们研究的热点(孟凤霞等,2003)。崔金杰和夏敬源(1999)及孙长贵等(2003b)报道抗虫棉棉田的寄生蜂明显少于普通棉田;余月书等(2003)认为 Bt 棉对中红侧沟茧蜂成虫有排斥作用;任璐等(2004)报道用含粉碎的抗虫棉棉叶的饲料饲养寄主,中红侧沟茧蜂的出茧率和茧重下降。本试验以室内多年饲养棉铃虫及田间棉铃虫为寄主,研究了 Bt 杀虫蛋白对棉铃虫中红侧沟茧蜂的影响,为更合理的应用 Bt 杀虫剂和 Bt 棉提供理论依据。

1　材料和方法

1.1　供试虫源

棉铃虫室内敏感品系(SS)在本实验室用人工饲料饲养 10 年以上,未接触过任何杀虫剂。棉铃虫田间品系(FS)为 2002 年 8 月采自河北省保定地区转 Bt 基因抗虫棉田,在室内用人工饲料繁殖 2 代。

中红侧沟茧蜂由河北省农林科学院植保所提供,在本实验室以棉铃虫为寄主繁殖。繁殖方法:中红侧沟茧蜂羽化后雌雄一起放入塑料蜂桶(20 cm × 40 cm)中任其交配,用 20% 的蜂蜜水补充营养。把羽化后 3 ~ 10 天的雌蜂装入指形管(4 cm × 6 cm)中,倒扣在铺有白纸的桌面上,放入一头 2 龄的棉铃虫,被攻击以后迅速取出换另一头。被寄生的棉铃虫用人工饲料饲养,直至中红侧沟茧蜂结茧化蛹。

试验昆虫的饲养条件:温度 26℃ ± 1℃,相对湿度 70 % ± 10 %,光周期 14L:10D。

1.2　含不同浓度 Bt 杀虫蛋白的人工饲料的配制

Bt 杀虫蛋白的制备:HD-73 菌株(购买于中国科学院微生物研究所)接种于 LB 液体培养基上,在 28℃的摇床上振荡培养,孢晶分散后依照常规方法提纯(喻子牛,1990;孟凤霞,2001)。称取一定量的 Bt 杀虫蛋白,用蒸馏水加灭菌玻璃珠振荡 24 h 后稀释到所需浓度,每个浓度取 10 mL 加入到 500 g 人工饲料中,使人工饲料中含 Bt 杀虫蛋白的浓度分别为 0、0.5、1.0、2.0、4.0 和 8.0 μg/g。

1.3　转 *Cry1A + CpTI* 基因棉对棉铃虫杀虫活性的测定

供试棉花品种为 SGK321(转 *cry1A + CpTI* 基因,购于中国农科院种子公司),以石远 321 常规棉(SGK321 的亲本,由中国进出口商品检验检疫所提供)为对照。采摘苗期棉株顶部完全展开的第 3 片嫩叶装入指形管(1.0 cm × 6.0 cm)中,每管装 1 头棉铃虫初孵幼虫,隔一天更换一次棉叶,试验共 4 个处理(两个棉铃虫品系,两个棉花品种),每处理共 60 头棉铃虫,15 头为一个重复,每天记录幼虫存活状况,连续观察 5 天。

1.4　Bt 杀虫蛋白对棉铃虫幼虫生长发育的影响

用含 Bt 杀虫蛋白浓度为 0、0.5、1.0、2.0 和 4.0 μg/g 的人工饲料,分别接室内和田间品系棉铃虫初孵幼虫单管饲养,每处理共 45 头棉铃虫,每 15 头为一个重复。第 7 天称取幼虫鲜重,继续饲养至化蛹后第 2 天称蛹重,并且计算化蛹率。

1.5　Bt 杀虫蛋白通过棉铃虫对中红侧沟茧蜂生长发育的影响

试验方法采用以下两种:(1) 室内和田间品系棉铃虫从初孵幼虫开始一直取食处理饲料,在第 6 日龄时接种寄生。寄生方法同中红侧沟茧蜂的繁殖方法。寄生时因毒蛋白的作用,各处理寄主体重有差异,但这样更接近于自然状况。(2) 棉铃虫初孵幼虫先在对照人工饲料上饲养,幼虫在第 5 日龄时接种寄生,被寄生前 12 h 开始取食处理饲料,直至中红侧沟茧蜂幼虫结茧化蛹。两种处理方法饲料含 Bt 杀虫蛋白的浓度分别为 0、0.5、1.0、2.0、4.0 和 8.0 μg/g。试验处理共 12 个,每处理共寄生 200 头棉铃虫,50 头为一个重复。观察被寄生幼虫的生长发育情况,记录寄生蜂的卵 – 幼虫历期、茧重和成虫体重,成虫羽化后单头放入指形管(1 cm × 6 cm)中,每天用 20% 的蜂蜜水补充营养,记录中红侧沟茧蜂成虫的寿命。

2　结果与分析

2.1　转基因抗虫棉对棉铃虫生长发育的影响

试验结果表明(表 1),抗虫棉 SGK321 对棉铃虫两个品系均有显著的致死作用,但对室内品系的作

用更显著。接虫后第3天室内品系的校正死亡率为87.8%，而田间品系的校正死亡率为59.6%，差异显著（$P<0.05$），第5天室内品系校正死亡率95.8%，显著高于田间品系（86.1%）（$P<0.05$）。根据转基因抗虫棉抗虫性评定标准（贾士荣等，2001），SGK321对棉铃虫田间品系仍是特高抗水平。

表1　转 *Cry1A* + *CpTI* 基因抗虫棉嫩叶对不同品系棉铃虫初孵幼虫的毒力（校正死亡率%）（26℃）

Table 1　Corrected mortality (%) of the neonate larvae from two strains of *H. armigera* feeding on young leaves of transgenic *cry1A* + *CpTI* cotton for different time at 26℃

棉铃虫品系 *H. armigera* strain	取食时间(天)Feeding time (d) 1	2	3	4	5
田间 Field strain (FS)	0 a	30.9±3.5 a	59.6±5.1 a	80.9±5.1 a	86.1±3.6 a
敏感 Susceptible strain (SS)	5.0±2.2 b	48.5±2.9 b	87.8±4.2 b	96.6±2.5 b	95.8±2.6 b

注 Notes：表中数据为平均值±标准误，同列数据后有不同字母表示差异显著（$P<0.05$），表2同 The data in the table are mean ± *SE*, and those within a column followed by different letters differ significantly at $P<0.05$. The same for Table 2.

2.2　Bt杀虫蛋白对棉铃虫幼虫生长发育和存活的影响

从表2可看出，棉铃虫同一品系随着饲料中Bt蛋白浓度的增加，幼虫重及蛹重显著降低。Bt浓度为4.0 μg/g时，室内和田间品系幼虫重分别降低到5.7 mg和7.6 mg，和对照（92.2 mg和91.5 mg）相比差异显著（$P<0.05$），化蛹率也显著低于对照（$P<0.05$）。Bt蛋白浓度相同，两个棉铃虫品系比较，田间品系的幼虫重和蛹重均大于室内品系的幼虫重和蛹重，但两个品系的化蛹率没有显著差异。Bt蛋白浓度为0.5和4.0 μg/g时，幼虫重差异分别达到显著水平（$P<0.05$）；浓度为0.5和2.0 μg/g时，蛹重的差异分别达到显著水平（$P<0.05$）。

表2　含不同浓度Bt杀虫蛋白的人工饲料对敏感(SS)和田间(FS)品系棉铃虫幼虫生长的影响(26℃)

Table 2　Effect of diet with different contents of Bt protein on development of the susceptible (SS) and field (FS) strains of *H. armigera* larvae at 26℃

Bt浓度(μg/g) Bt protein content	第7天幼虫重(mg) 7 day-old larval weight		化蛹率(%) Pupation rate		蛹重(mg) Pupal weight	
	SS	FS	SS	FS	SS	FS
0(CK)	92.2±5.0 a	91.5±4.6 a	77.8±2.2 a	75.6±4.4 ab	260.2±5.4 a	269.7±5.5 a
0.5	20.3±1.1 b	25.4±1.9 b	75.6±5.9 a	80.0±3.8 a	223.4±6.4 b	243.4±7.1 b
1.0	14.9±1.4 bc	18.5±1.8 c	71.1±2.2 ab	73.3±3.8 ab	196.5±6.2 c	209.3±5.3 c
2.0	9.8±0.9 d	11.2±1.2 d	66.7±3.8 ab	64.4±5.9 b	178.2±5.8 d	198.6±3.3 c
4.0	5.7±0.5 d	7.6±0.5 d	60.0±3.8 b	62.2±5.9 b	146.2±5.9 e	161.1±7.6 d

2.3　Bt杀虫蛋白通过棉铃虫对中红侧沟茧蜂生长发育的影响

不论是田间品系还是室内品系，当棉铃虫一直取食含Bt蛋白的饲料时，中红侧沟茧蜂的卵-幼虫历期延长，茧重和成虫体重减轻，成虫寿命缩短，但对雄蜂和雌蜂的茧期没有显著影响（表3）。Bt蛋白的浓度越大影响越显著。Bt蛋白浓度为8.0 μg/g时，与对照相比，以室内和田间品系棉铃虫为寄主的中红侧沟茧蜂的卵-幼虫历期分别延长了2.06和2.29天，茧重分别降低了35%和37%，雄蜂成虫体重分别降低了43%和41%，雌蜂成虫体重分别降低了33%和36%，雄峰寿命分别缩短了5.44和5.41天，雌蜂寿命分别缩短了11.72和10天。当Bt蛋白浓度为0.5 μg/g时，以在室内饲养5代的田间棉铃虫为寄主的中红侧沟茧蜂的卵-幼虫历期显著短于室内品系，雌蜂寿命显著长于室内品系。

当室内和田间品系的棉铃虫在寄生前12 h开始取食含Bt蛋白的饲料时，对中红侧沟茧蜂生长发育的影响与寄主一直取食含Bt蛋白处理饲料时的影响相似，延长了卵-幼虫历期，降低了茧重及成虫体重，缩短了成虫寿命，但对雌蜂和雄蜂的茧期都没有显著影响（数据未列出）。在所有处理中，以田间品系为寄主的中红侧沟茧蜂的卵-幼虫历期显著短于以室内品系为寄主的卵-幼虫历期（$P<0.05$）；当浓度为8.0 μg/g时，田间品系的雄蜂寿命显著长于室内品系（$P<0.05$）。

表3 取食含不同浓度Bt杀虫蛋白的人工饲料的棉铃虫幼虫对中红侧沟茧蜂生长发育的影响(26℃)

Table 3 Performance of *Microplitis mediator* in *H. armigera* whose neonate larvae fed on the diet with different contents of Bt protein at 26℃

棉铃虫品系 *H. armigera* strain	Bt杀虫蛋白浓度 Content of Bt protein (μg/g) 0.5	1.0	2.0	4.0	8.0	0 (CK)
卵-幼虫历期 Egg + larval duration (d)						
SS	9.40 ± 0.08 bc	9.22 ± 0.08 b	9.24 ± 0.07 b	9.71 ± 0.12 c	10.65 ± 0.13 d	8.59 ± 0.09 a
FS	9.09 ± 0.10 ab	9.28 ± 0.12 b	9.14 ± 0.08 ab	9.93 ± 0.20 c	11.04 ± 0.35 d	8.75 ± 0.11 a
茧重 Cocoon weight (mg)						
SS	3.93 ± 0.08 b	3.97 ± 0.07 b	3.92 ± 0.08 b	3.40 ± 0.07 c	2.79 ± 0.10 d	4.30 ± 0.09 a
FS	4.04 ± 0.09 ab	4.04 ± 0.09 ab	3.89 ± 0.08 b	3.49 ± 0.12 c	2.73 ± 0.11 d	4.30 ± 0.09 a
雄蜂成虫体重 Male wasp weight (mg)						
SS	1.60 ± 0.06 ab	1.58 ± 0.05 b	1.54 ± 0.04 b	1.35 ± 0.06 c	0.99 ± 0.08 d	1.75 ± 0.06 a
FS	1.59 ± 0.07 b	1.44 ± 0.06 bc	1.43 ± 0.06 bc	1.40 ± 0.06 c	1.03 ± 0.11 d	1.75 ± 0.07 a
雌蜂成虫体重 Female wasp weight (mg)						
SS	1.51 ± 0.06 b	1.59 ± 0.04 ab	1.61 ± 0.06 c	1.24 ± 0.07 c	1.14 ± 0.09 c	1.70 ± 0.05 a
FS	1.51 ± 0.08 ab	1.51 ± 0.09 ab	1.51 ± 0.09 ab	1.36 ± 0.05 bc	1.10 ± 0.15 c	1.72 ± 0.1 a
雄蜂寿命 Male wasp longevity (d)						
SS	10.31 ± 0.62 bc	12.21 ± 0.96 ab	11.48 ± 0.90 bc	8.68 ± 0.77 c	6.33 ± 1.12 d	11.77 ± 1.08 a
FS	12.00 ± 1.2 ab	12.36 ± 1.76 ab	11.80 ± 1.38 ab	9.27 ± 0.97 b	8.67 ± 0.89 b	14.08 ± 0.92 a
雌蜂寿命 Female wasp longevity (d)						
SS	17.00 ± 1.75 a	16.81 ± 1.26 a	16.50 ± 1.05 a	12.13 ± 0.99 b	8.19 ± 0.99 b	19.91 ± 1.47 a
FS	22.80 ± 1.78 a	18.69 ± 1.69 a	15.36 ± 1.81 b	16.47 ± 2.19 ab	11.83 ± 1.92 b	21.83 ± 2.01 a

注 Notes：棉铃虫幼虫取食含Bt杀虫蛋白浓度为0、0.5、1.0、2.0及4.0 μg/g的人工饲料时，在6日龄时被寄生；取食含Bt杀虫蛋白浓度为8.0 μg/g的人工饲料时，在7日龄时被寄生。表中数据为平均值±标准误，同行数据后有不同字母表示差异显著($P<0.05$)。Fed on the diet containing 0, 0.5, 1.0, 2.0 and 4.0 μg/g of Bt protein, the larvae of the cotton bollworm were parasitized at 6 day-old; while on the diet containing 8.0 μg/g of Bt protein, the larvae were parasitized at 7 day-old. The data in the table are mean ± *SE*, and those within a row followed by different letters differ significantly at $P<0.05$.

3 讨论

关于Bt杀虫蛋白和转Bt基因植物对害虫天敌影响的研究结果差异很大。对于捕食性天敌，研究者大多认为Bt杀虫蛋白对个体发育和种群数量没有显著影响(Pilcher *et al.*, 1997; Zwahlen *et al.*, 2000; Al-Deeb *et al.*, 2001; 董亮等，2003；张桂芬等，2004)，但Hilbeck等(1999)报道用取食Bt蛋白的海灰翅夜蛾 *Spodoptera littoralis* 幼虫饲养的草蛉幼虫平均死亡率明显高于对照；对于寄生性天敌影响的分歧更大，有些学者认为Bt杀虫蛋白对寄生率、寄生蜂发育历期及成虫寿命没有影响(Singh *et al.*, 2000; Schuler *et al.*, 2001)，有些学者认为寄生率和寄生蜂的生长发育明显受到负面影响(Salama *et al.*, 1991; 崔金杰和夏敬源，1999；孙长贵等，2003a；Baur and Boethel, 2003; 任璐等，2004)，也有些学者认为Bt蛋白和寄生蜂在控制寄主害虫时有明显的增效作用(Johnson, 1997; Atwood *et al.*, 1997)。

根据本研究结果，作者认为Bt蛋白在亚致死浓度下对中红侧沟茧蜂的影响视采用的指标而异。一方面，饲料中含亚致死浓度的Bt蛋白能显著降低棉铃虫的幼虫重及蛹重，延缓棉铃虫生长发育，延长棉铃虫适合中红侧沟茧蜂寄生的时间(未发表资料)，因此可能增强中红侧沟茧蜂对棉铃虫的控制作用。另一方面，当寄主取食含Bt蛋白的饲料后，中红侧沟茧蜂的卵-幼虫历期延长，茧重和成虫体重减轻，成虫寿命缩短。寄生蜂的卵-幼虫历期延长，可能增加寄主被再寄生和被捕食的机会，茧重及成虫体重的减轻影响了寄生蜂的活力，成虫寿命的缩短会影响寄生蜂的产卵量，其综合作用结果有待进一步评估。寄主一直取食含Bt杀虫蛋白的饲料或在被寄生前12 h开始取食处理饲料，对中红侧沟茧蜂的影响趋势相似。王琛柱(2001)报道寄主大小与棉铃虫齿唇姬蜂 *Campoletis chlorideae* (Uchida)的生长发育成正相关。刘小侠等(2004)研究寄主大小与中红侧沟茧蜂之间的关系也得出相似结论。由此可见，当寄主一直取食Bt杀虫蛋白处理的饲料到第6日龄时寄生，寄主大小差异很大，部分由于寄主死亡而导致寄生蜂不能完成发育，在中红侧沟茧蜂能够成功寄生的情况下，对寄生蜂生长发育造成了显著影响。被寄生前12 h开始用Bt处理的饲料饲养寄主，这时

棉铃虫被寄生时大小相似，结果同样对中红侧沟茧蜂的生长发育造成不良影响，作者认为可能是由于中红侧沟茧蜂是容生性寄生蜂，寄生后寄主要继续取食一段时间才能满足寄生蜂的营养要求，Bt杀虫蛋白影响了寄主的生长，间接影响了中红侧沟茧蜂的生长发育，也可能是由于Bt蛋白直接作用于中红侧沟茧蜂幼虫的结果。

就两个棉铃虫品系而言，棉铃虫初孵幼虫取食抗虫棉叶时，室内品系第2、3、4和5天的校正死亡率显著高于田间品系；取食含Bt蛋白的饲料时，田间品系的幼虫重及蛹重大于敏感品系，由此可见，室内品系对Bt的敏感性大于田间品系。但田间品系在取食抗虫棉叶第5天的校正死亡率仍在80%以上，因此我们认为田间品系对Bt棉仍是高度敏感的。沈晋良等（1998）报道我国部分田间棉铃虫已对Bt产生早期抗性，与敏感品系相比，LC_{50}值稍有增加；梁革梅等（2000）报道棉铃虫经过16代筛选后，对Bt棉的抗性上升到43.3倍；束春娥等（2001）用转*cry1A + CpTI*双价基因棉连续16代筛选后，棉铃虫的校正死亡率由79.18%下降到49.36%。因此，我们应该提高警惕，合理种植抗虫棉和喷洒Bt制剂，延缓棉铃虫对Bt抗性的发展。

不论是田间品系还是室内品系，寄主取食含Bt杀虫蛋白的饲料后，对中红侧沟茧蜂都有显著的负面作用，但田间品系对中红侧沟茧蜂的影响小于室内品系。例如，当寄主在被寄生前12 h开始用含Bt蛋白的饲料饲养时，寄生田间品系的中红侧沟茧蜂的卵-幼虫历期显著短于室内品系，卵-幼虫历期的缩短会减少寄主被再寄生和被捕食的机会。虽然作者认为田间品系棉铃虫对Bt杀虫蛋白仍是高度敏感，但由表1和表2可看出，田间品系棉铃虫对Bt的敏感性降低，因此当中红侧沟茧蜂寄生田间品系棉铃虫时，Bt蛋白对其生长发育的影响小于室内品系，这可能与棉铃虫对Bt杀虫蛋白的敏感性有关。本试验供试棉花品种是转双价*cry1A + CpTI*基因抗虫棉，该抗虫棉对两个棉铃虫品系的影响均非常显著，而供试的人工饲料内只含Cry1Ac杀虫蛋白，中红侧沟茧蜂寄生于取食含Cry1A + CpTI毒素的人工饲料的棉铃虫时，会对寄生蜂的生长发育造成什么影响，还需要进一步研究。

致谢 本实验室的徐环李老师和康乃尔大学的赵建周博士在论文写作过程中提出了许多有建设性的建议，在本实验室实习的王硕同学参加了部分工作，在此一并感谢。

参考文献（References）

Al-Deeb MA, Wilde GE, Higgins RA, 2001. No effects of *Bacillus thuringiensis* corn and *Bacillus thuringiensis* on the predator *Orius insidiosus* (Hemiptera: Anthocoridae). *Environ. Entomol.*, 30(3): 625－629.

Atwood DW, Young SY, Kring TJ, 1997. Development of *Cotesia marginiventris* (Hymenoptera: Braconidae) in tobacco budworm (Lepidoptera: Noctuidae) larvae treated with *Bacillus thuringiensis* and thiodicarb. *J. Econ. Entomol.*, 90(3): 751－756.

Baur ME, Boethel DJ, 2003. Effect of Bt-cotton expressing Cry1Ac on the survival and fecundity of two Hymenoptera parasitoids (Braconidae, Encyrtidae) in the laboratory. *Biological Control*, 26: 325－332.

Cui JJ, Xia JY, 1999. Effects of transgenic Bt cotton on the population dynamics of natural enemies. *Acta Gossypii Sinica*, 11(2): 84－91. [崔金杰，夏敬源，1999. 转Bt基因棉对天敌种群动态的影响. 棉花学报，11(2): 84－91]

Dong L, Wan FH, Zhang GF, Liu XJ, Li Q, 2003. Impacts of transgenic Bt cotton on the development and fecundity of *Chrysopa sinica* Tjeder. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 11(3): 16－18. [董亮，万方浩，张桂芬，刘小京，李强，2003. 转Bt基因抗虫棉对中华草蛉发育及繁殖的影响研究. 中国生态农业学报，11(3): 16－18]

Hilbeck A, Moar WJ, Carey MP, Pusztai-Carey M, Filippini A, Bigler F, 1999. Prey-mediated effects of Cry1Ab toxin and protoxin and Cry2A protoxin on the predator *Chrysoperla carnea*. *Entomol. Exp. App.*, 91: 305－316.

Jia SR, Guo SD, An DC, 2001. Transgenic Cotton. Beijing: Science Press. 116－129. [贾士荣，郭三堆，安道昌 主编，2001. 转基因棉花. 北京：科学出版社. 116－129]

Johnson MT, 1997. Interaction of resistance plants and wasp parasitoids of tobacco budworm (Lepidoptera: Noctuidae). *Environ. Entomol.*, 26(2): 207－214.

Liang GM, Tan WJ, Guo YY, 2000. A study on screening and inheritance mode of resistance to Bt transgenic cotton in cotton bollworm. *Acta Entomologica Sinica*, 43(Suppl.): 57－62. [梁革梅，谭维嘉，郭予元，2000. 棉铃虫对转Bt基因棉的抗性筛选及遗传方式的研究. 昆虫学报，43(增刊): 57－62]

Liu XX, Zhang QW, Li JC, Xu J, 2004. Effects of host size on oviposition and development of the endoparasitoid, *Microplitis mediator* (Haliday). *Chinese Journal of Biological Control*, 20(2): 110－113. [刘小侠，张青文，李建成，徐静，2004. 中国生物防治，20(2): 110－113]

Meng FX, 2001. The Resistance to Transgenic Cotton in *Helicoverpa armigera* (Hübner): Strain Selection and Genetics of Resistance. Ph. D. thesis in Nanjing Agricultural University. 22－26. [孟凤霞，2001. 棉铃虫对转Bt基因棉的抗性：抗性品系选育与抗性遗传. 南京农业大学博士学位论文. 22－26]

Meng FX, Shen JL, Chu SP, 2003. Temporal-spatial variation in efficacy of Bt cotton leaves against *Helicoverpa armigera* (Hübner) and effect of weather conditions. *Acta Entomologica Sinica*, 46(3): 299－304. [孟凤霞，沈晋良，褚姝频，2003. Bt棉叶对棉铃虫抗虫性的时空变化及气其象因素的影响. 昆虫学报，46(3): 299－304]

Pilcher CD, Obrycki JJ, Rice ME, Lewis LC, 1997. Preimaginal development, survival, and field abundance of insect predator on transgenic *Bacillus thuringiensis* corn. *Environ. Entomol.*, 26(2): 446–454.

Ren L, Yang YZ, Li X, Miao L, Yu YS, Qin QL, 2004. Impact of transgenic Cry1A plus CpTI cotton on *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) and its two endoparasitoid wasps *Microplitis mediator* (Hymenoptera: Braconidae) and *Campoletis chlorideae* (Hymenoptera: Ichneumonidae). *Acta Entomologica Sinica*, 47(1): 1–7. [任璐,杨益众,李暄,苗麟,余月书,秦启联,2004. 转基因抗虫棉对棉铃虫及其内寄生蜂的双重效应. 昆虫学报, 47(1): 1–7]

Salama HS, El-Moursy A, Zaki FN, Aboul-Ela R, Abdel-Razek A, 1991. Parasites and predator of the meal moth *Plodia interpunctella* Hbn. as affected by *Bacillus thuringiensis*. *J. Appl. Ent.*, 112: 244–253.

Schuler TH, Potting RPJ, Denholm I, Poppy GM, 1999. Parasitoid behaviour and Bt plants. *Nature*, 399: 825–826.

Schuler TH, Denholm I, Jouarin L, Clark SJ, Poppy GM, 2001. Population-scale laboratory studies of the effect of transgenic plants on nontarget insects. *Molecular Ecology*, 10: 1 845–1 853.

Shen JL, Zhou WJ, Wu YD, Lin XW, 1998. Early resistance of *Helicoverpa armigera* Hübner to *Bacillus thuringiensis* and its relation to the effect of transgenic cotton lines expressing Bt toxin on the insect. *Acta Entomologica Sinica*, 41(1): 8–14. [沈晋良,周威君,吴益东,林祥文,1998. 棉铃虫对Bt生物农药早期抗性及与转Bt基因棉抗虫性的关系. 昆虫学报, 41(1): 8–14]

Shu CE, Bai LX, Sun HW, Sun YW, 2001. Studies on resistance development of transgenic cotton variety feed by continual generations of cotton bollworm. *Chinese Journal of Biological Control*, 17(1): 1–5. [束春娥,柏立新,孙宏武,孙以文,2001. 棉铃虫多代连续取食转基因抗虫棉的抗性演变. 中国生物防治,17(1): 1–5]

Singh SP, Jalali SK, Venkatesan T, 2000. Susceptibility of diamondback moth and its egg parasitoid to a new Bt formulation. *Pest Manag. Hort. Ecosyst.*, 6(2): 114–117.

Sun CG, Zhang QW, Xu J, Wang YX, Zhou MZ, 2003a. Effects of sub-lethal dose on the parasitization and development of *Campoletis chlorideae* Uchida. *Chinese Journal of Biological Control*, 19(3): 106–110. [孙长贵,张青文,徐静,王因霞,周明牂,2003a. 亚致死浓度Bt对棉铃虫齿唇姬蜂寄生几率及生长发育的影响. 中国生物防治,19(3): 106–110]

Sun CG, Zhang QW, Xu J, Wang YX, Liu JL, 2003b. Effects of transgenic Bt cotton and transgenic Bt + CpTI cotton on population dynamics of main cotton pests and their natural enemies. *Acta Entomologica Sinica*, 46(6): 705–712. [孙长贵,张青文,徐静,王因霞,刘俊丽,2003b. 转Bt基因棉和转Bt+CpTI双价基因棉对棉田主要害虫及其天敌种群动态的影响. 昆虫学报,46(6): 705–712]

Wang CZ, 2001. Effects of host on oviposition and development of the endoparasitoid, *Campoletis chlorideae* Uchida. *Chinese Journal of Biological Control*, 17(3): 107–111. [王琛柱,2001. 寄主大小与棉铃虫齿唇姬蜂产卵和发育的关系. 中国生物防治, 17(3): 107–111]

Wang DA, Nan LZ, Sun X, Li XZ, 1984. Study on bionomics of *Microplitis* spp. larval parasitic wasp of *Helicoverpa armigera*. *Natural Enemies of Insect*, 6(4): 211–218. [王德安,南留柱,孙洗,李小珍,1984. 棉铃虫低龄幼虫寄生蜂——侧沟茧蜂生物学研究. 昆虫天敌, 6(4): 211–218]

Yu YS, Yang YZ, Yin Y, Lu YH, 2003. Effect of insect resistant transgenic cotton on behavior of *Microplitis mediator* parasitized cotton bollworm. *Jiangsu J. Agr. Sci.*, 19(3): 174–177. [余月书,杨益众,印毅,陆宴辉,2003. 转基因抗虫棉对棉铃虫中红侧沟茧蜂选择行为的影响. 江苏农业学报, 19(3): 174–177]

Yu ZN, 1990. *Bacillus thuringiensis*. Beijing: Science Press. 15–20. [喻子牛,1990. 苏云金杆菌. 北京:科学出版社. 15–20]

Zhang GF, Wan FH, Guo JY, Hou ML, 2004. Expression of Bt toxin in transgenic Bt cotton and its transmission through pests *Helicoverpa armigera* and *Aphis gossypii* to natural enemy *Propylaea japonica* in cotton plots. *Acta Entomol. Sin.*, 47(3): 334–341. [张桂芬,万方浩,郭建英,侯茂林,2004. Bt毒蛋白在转Bt基因棉中的表达及其在害虫-天敌间的转移. 昆虫学报,47(3): 334–341]

Zwahlen C, Nentwig W, Bigler F, Hilbeck A, 2000. Tritrophic interactions of transgenic *Bacillus thuringiensis* corn, *Anaphothrips obscurus* (Thysanoptera: Thripidae), and the predator *Orius majusculus* (Heteroptera: Anthocoridae). *Environ. Entomol.*, 29(4): 846–850.

(责任编辑:袁德成)